ChinaXiv合作期刊

第45卷 第6期
2022年11月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 45 No. 6
Nov. 2022

chinaXiv:202302.00016v1

不同采收间隔双排油莎豆(*Cyperus esculentus*)带风场结构与防风效能的模拟研究

刘亚兰[1,2,3,4], 李 磊[1,2,3,4], 鲁 艳[1,2,3], 宋春武[1,2,3], 李向义[1,2,3,4], 曾凡江[1,2,3,4]

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆荒漠植物根系生态与植被修复重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测实验站,新疆 策勒 848300; 4. 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:油莎豆(*Cyperus esculentus*)根系发达,具有作为防风固沙作物的巨大潜力。开展不同条带状采收方式下油莎豆带的防风固沙效益研究,对于合理利用油莎豆进行防风固沙具有重要意义。以风洞模拟为手段,分别在6 $m\cdot s^{-1}$、8 $m\cdot s^{-1}$、10 $m\cdot s^{-1}$ 3种风速下,对隔一带采收一带(H1)、隔一带采收两带(H2)、隔一带采收三带(H3)3种不同油莎豆采收模型在风洞不同位置的风速进行测定,并对不同模型的流场特征、风速加速率及防风效能进行分析。结果表明:(1) 3种不同油莎豆采收模型中,气流均在近床面内受油莎豆模型阻挡,风速被急剧削减形成一定面积风影区,H2与H3模型的流场结构稳定性、风影区面积均比H1模型高。(2) 随着风速增加,不同模型的防风效能均有所下降。H2与H3模型背风面在不同风速下的平均防风效能没有显著差异,但显著大于H1模型。在采收间距内,H2与H3模型防风效能均>50%,H1模型<40%。(3) 从防风固沙效益及流场稳定性来看,H2与H3模型之间没有显著差异且显著大于H1模型。但从经济效益来看,H2模型采收间距减小,经济效益降低。综合防风固沙的生态效益与获取油莎豆的经济效益来看,H3模型为推荐采收方式。本研究通过对不同油莎豆采收模式的防风固沙效益,为利用油莎豆进行防风固沙提供了指导,并为在干旱半干旱地区推广种植油莎豆,获得更大的生态经济效益提供了理论依据。

关 键 词:采收间距;风洞模拟;流场结构;风速加速率;防风效能

文章编号:1000-6060(2022)06-1908-08(1908~1915)

我国是受土壤风蚀、沙漠化影响最严重的国家之一[1-2],其中以旱作农田受干旱、沙化影响最为严重,严重制约了我国西部地区的经济社会发展[3]。选择一种既能适沙抗旱又能获得一定经济效益的作物,对有效利用我国西部干旱、半干旱区沙化土地、增加当地农民收入以及提高生态经济效益具有重要意义。油莎豆(*Cyperus esculentus*)是原产于非洲的莎草科莎草属多年生草本植物(作为作物时为一年生),根系发达,分蘖能力强,除能够很好适应干旱、半干旱区的恶劣环境,其块茎还可以榨油、制作食品,地上茎叶也可以作为优质动物饲料,是一种兼具经济效益及生态等功能的生态经济植物[4]。因此,在我国北方风蚀沙化严重地区种植油莎豆不仅能够有效遏制土壤风蚀,还能够为当地带来较高的经济收入,促进生态环境改善和社会经济发展。

一般来说,植被的覆盖度越高,防风固沙效果越强[5-6]。前人的研究也表明,植被覆盖低于40%时不能够完全起到防风固沙的作用[7]。而对于油莎豆等生态经济型农作物来说,不仅需要获得防风固沙的生态效益,还需获得相应的经济效益,在其成熟后需要进行采收,植物覆盖度也会随之降低。但在农作物的采收过程中不可避免会对土壤产生一定破坏,同时覆盖度减小,减弱植被的防护功能[8]。条带状的采收模式可以在保证最大防风固沙效益的

收稿日期:2022-03-01; **修订日期**:2022-04-20
基金项目:国家重点研发计划课题(2019YFC0507602-2)资助
作者简介:刘亚兰(1996-),女,硕士研究生,主要从事植物生态学等方面的研究. E-mail: 826703328@qq.com
通讯作者:李磊(1988-),男,副研究员,主要从事植物生态学等方面的研究. E-mail: lile@ms.xjb.ac.cn

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202302.00016v1

基础上获得最大的油莎豆产量，确定合适的条带采收间距是利用油莎豆获得生态、经济效益的基础。一般来说，防护带之间的间隔越小，植物防护带对于风沙的防护作用越强[9-11]。例如，闫敏等[12]对不同带间距下柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)防护林防风效能的研究发现不同带间距下防护林带的防护效果4 m>6 m>8 m。但也有研究表明，不同的阻沙材料及不同模型下，间距较小的模型阻沙量并未达到最大。例如，康向光等[13]以阻沙网的高度H为基本单位，对2H、5H、10H、15H 4种间距阻沙网的防风效果进行了研究，发现10H间距下阻沙网的阻沙量最大，2H和5H间距下的阻沙量最小。因此，间距对于不同材料模型的防风固沙效果具有不同影响。然而，目前关于不同条带状采收配置对于防风带防风阻沙效果的影响主要集中于防护林与尼龙网阻沙带的研究[10-11,13]，对于不同采收间距配置农田植物带的防风效能研究较少，难以为干旱、半干旱区利用条带状种植模式种植油莎豆获得较大的生态经济效益提供科学依据。

对于农作物而言，采收间隔减小的情况下虽然植被覆盖度增加，但经济效益下降，不能激发农民的种植意愿，但采收间隔过大又会减少防风固沙的生态效益。因此，研究最佳的油莎豆条带状采收间隔配置模式，对于干旱区利用油莎豆减少农田风蚀、获得较大产量、减少成本具有重要意义。本研究用行带式油莎豆模型，采用风洞模拟实验，测定不同采收间距油莎豆带迎风面、带中、背风面的风速变化及防风效能，以期阐明可以获得最大防风效能和经济效益的油莎豆条带状采收间距，为利用油莎豆种植进行防风固沙和增加农民经济收入提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　实验设备

风洞实验在中国科学院新疆生态与地理研究所莫索湾环境风洞实验室进行。该风洞为直流开口式，洞长16.2 m，实验段长8 m，横截面为1.3 m×1.0 m，可调节实验风速范围为0.5~20 m·s^{-1}。实验模型由柔性仿真高草带制成，单株油莎豆模型高8 cm，冠幅7 cm×8 cm，模型与野外实际种植油莎豆尺寸比例为1:12.5。在野外实际种植情况中，株距为20 cm，行间距为30 cm，带宽100 cm。为最大程度模拟野外实际情况，设置株间距1.6 cm，行间距2.4 cm，三行一带的模型配置。设置隔一带采收一带(H1)、隔一带采收两带(H2)、隔一带采收三带(H3) 3种不同采收方式的油莎豆风洞实验模型。

1.2　实验设计

本实验设置6 m·s^{-1}、8 m·s^{-1}、10 m·s^{-1} 3种不同风速。3种实验风速下，测定模型迎风面24 cm范围内油莎豆带内行间的中点以及背风面72 cm范围内在风洞垂直纵剖面9个高度处风速。9个高度分别为1 cm、2 cm、3 cm、5 cm、7 cm、10 cm、15 cm、30 cm、50 cm。将迎风面测点记为负值，油莎豆带和背风面为正，所对应的测点同时用油莎豆植物模型的高度(8 cm)的倍数表示。具体测点位置及风向见图1，图中标注横坐标的位置为测点在床面的横坐标，测量时皮托管放置在床面中间位置。其中0点位置为油莎豆带起始位置，模型迎风面为油莎豆带之前，背风面为第二条油莎豆带以后。除在油莎豆带前后设置测量点外，油莎豆带中点也设置测点以更精确测量油莎豆带对气流的影响(图1)。在测量时将不同模型及其之间的带距作为一个整体，为了测量模型前后相同距离的防风效能及防护距离变化，故在测量时保证模型前迎风面距离为24 cm，模型后背风面距离为72 cm。风速采用微压传感器测定，测定时将皮托管移动到测点，停留5 min记录风速。

1.3　风速加速率及防风效能计算

1.3.1　风速加速率　风速加速率是一种常用的表示气流增强减弱程度的参数，能够较好地显示模型对气流的影响，当风速加速率>1.0时，表示油莎豆模型对气流有加速作用；当风速加速率<1.0时，表示模型对气流有减速作用；当风速加速率=1.0时，表示油莎豆模型对气流没有影响[14]。其计算方式如下：

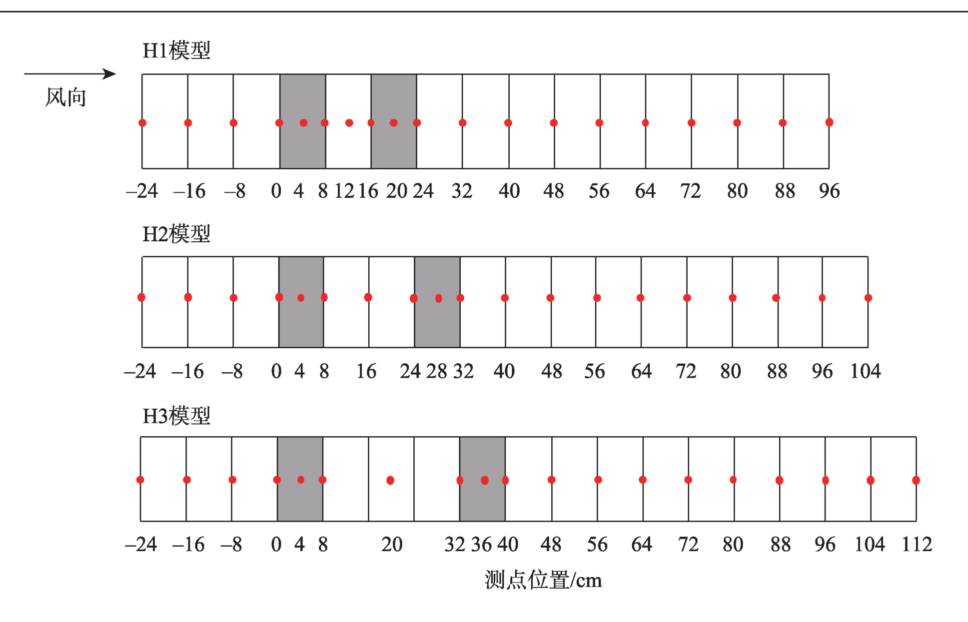
$$a_{klh} = v_{klh}/v_{kh} \tag{1}$$

式中：a_{klh}为风速加速率；k为风速大小；l为测点横坐标；h为测点纵坐标；v_{klh}为(l, h)点在k风速下的测量值；v_{kh}为相应风速下对照风速。

1.3.2　防风效能　防风效能是体现模型削减风速的一项主要指标，用于衡量模型对风速的削减程度。用各观测点的平均风速与空风洞时该观测点的初始风速之比得到防风效能(E_{klh})，公式如下[12-13]：

$$E_{klh} = (v_{kh} - v_{klh})/v_{kh} \times 100\% \tag{2}$$

ChinaXiv合作期刊



注：图中红色圆点表示测点位置，灰色区域表示两条油莎豆带，0点为油莎豆带起始点。H1为隔一带采收一带；H2为隔一带采收两带；H3为隔一带采收三带。下同。

图1 测点分布图

Fig. 1 Distribution of measuring points

1.3.3 数据统计与分析 利用Excel 2020进行数据整理并计算风速加速率及防风效能；Surfer 17.0绘制不同带间距配置油莎豆模型流场结构图；Origin 2019绘制不同位置及高度油莎豆模型防风效能变化折线图。SAS 9.4软件用于对数据进行单因素方差分析，并利用最小显著极差法(LSD)进行差异显著性检验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同采收间隔油莎豆模型的流场及风速加速率变化特征

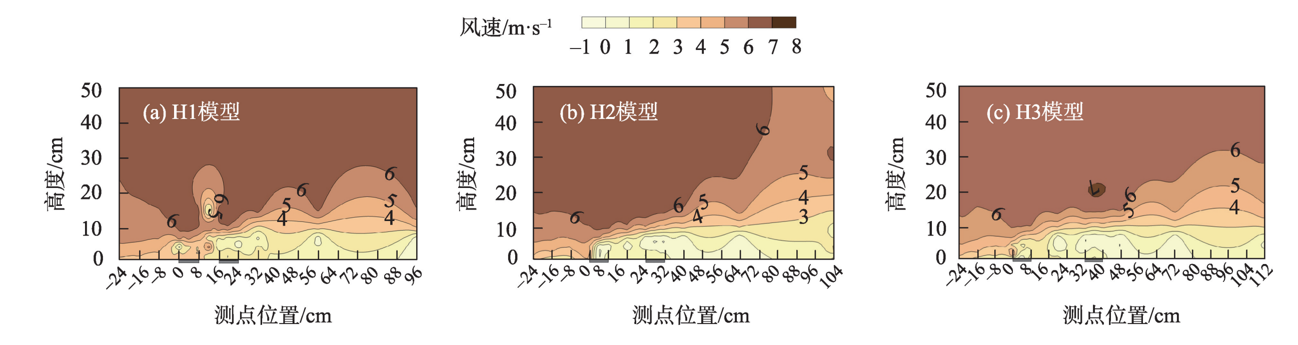
2.1.1 不同采收间隔油莎豆模型的流场结构分布特征 由图2可以看出，在3种油莎豆模型带前迎风面，形成了垂直于油莎豆带相对整齐的等风速线。当接近油莎豆植物模型时，0~20 cm高度范围之内各等风速线下移，说明风速在此有增加的趋势。但在0~20 cm高度以上，风速基本不变。在3种不同模型中，0点后0~10 cm近床面风速均急剧衰减，在此高度形成风影区。并且，不同模型中油莎豆两条带之间均形成了极弱风速的旋涡，这可能是由于油莎豆带模型对气流的阻挡，在此范围内形成了一定的静风区域造成的[11]。在油莎豆带上方20~30 cm范围内，不同模型在6 m·s^{-1}与8 m·s^{-1}风速下均存在不同面积的较高风速区域，但在10 m·s^{-1}风速条件下3种模型的较高风速区域均未闭合，说明3种模型对10 m·s^{-1}强风的削弱能力较弱。而模型上方30~50 cm高度范围内风速基本不变，这表示模型对这一区域的风速影响较小。在3种模型第二条油莎豆带后，0~10 cm近床面风影区强度随着距离增加而逐渐削减。但H2与H3模型下的风影区强度与面积大于H1模型，因此，H2与H3模型对于0~10 cm气流的阻碍、削减作用要强于H1。并且，在油莎豆带后24~32 cm范围内，不同油莎豆模型均又形成了极弱风速的旋涡，这也是由于模型对于气流的阻挡作用形成的。

由图3及图4可以看出，8 m·s^{-1}与10 m·s^{-1}风速下3种油莎豆模型风场结构与6 m·s^{-1}风速下的风场结构相似，均在油莎豆模型前形成相对整齐的等风速线，在带后近床面风速衰减，形成一定范围风影区，并在油莎豆植物模型上方形成高风速区域。随着风速增加，3种模型风速线密度均有所增加。并且，油莎豆模型近床面风影区面积与强度均逐渐减小，而模型上方的高风速区域面积与强度均逐渐增加，此结果证明了先前研究中随着风速增加，模型对风速削减作用降低的结论[9,11]。

2.1.2 不同采收间隔油莎豆模型的风速加速率变化特征 不同风速下，不同油莎豆模型的风速加速率变化特征相似，以6 m·s^{-1}风速为例进行说明。根据

chinaXiv:202302.00016v1

ChinaXiv合作期刊



注：图中横轴灰色斑块表示油莎豆带所在位置。下同。

图2 6 m·s⁻¹风速下垂直纵剖面流场结构

Fig. 2 Flow field structure of different plant models at 6 m·s⁻¹ wind speed

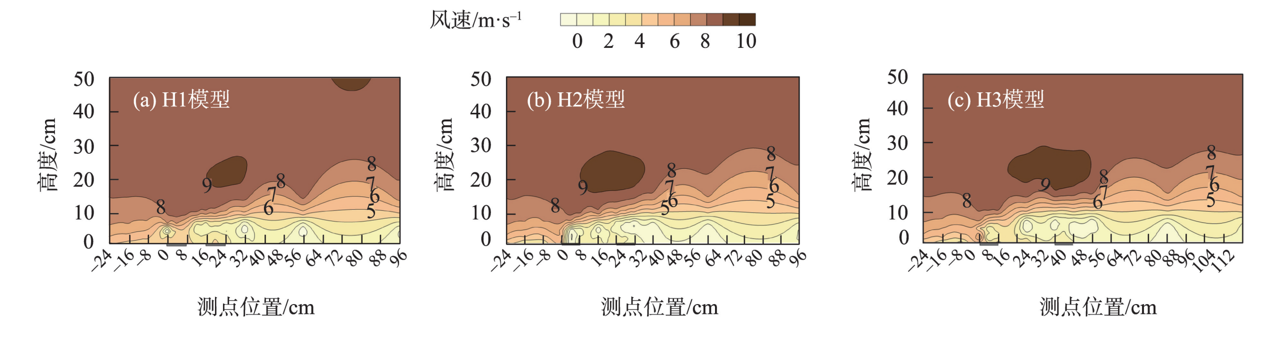


图3 8 m·s⁻¹风速下垂直纵剖面流场结构

Fig. 3 Flow field structure of different plant models at 8 m·s⁻¹ wind speed

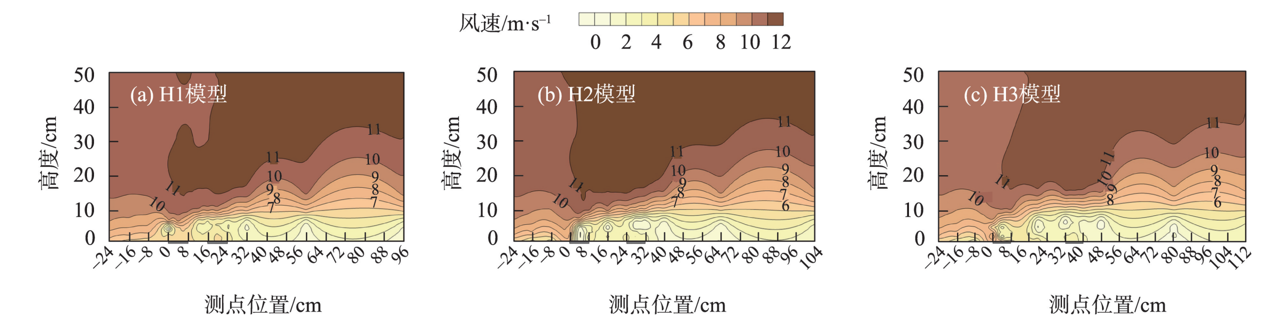


图4 10 m·s⁻¹风速下垂直纵剖面流场结构

Fig. 4 Flow field structure of different plant models at 10 m·s⁻¹ wind speed

图5可以看出，气流在不同油莎豆模型前近床面0~10 cm高度范围内形成弱减速区(加速率<0.9)，说明在油莎豆带前同一高度，3种油莎豆模型对于风速的削弱作用相对较弱。随着距离增加，在0~10 cm范围内，不同带间距油莎豆模型形成了加速率均<0.5的强减速区域，油莎豆模型对于气流的阻挡作用在近床面最为明显。3种模型均在油莎豆带上方20~30 cm范围内形成加速率>1.1的强加速区域且H2及H3模型强加速区域面积大于H1模型，与图1中风速变化趋势相同。而在30 cm以上，不同油莎豆模型上方均形成了大面积的加速区。并且，H2模型条件下加速率<1.0的区域面积要大于H1和H3模型，加速率>1.0的区域面积要小于H1和H3模型，H2模型在这区域对气流的阻挡作用为最强。

2.2 不同采收间隔油莎豆模型的防风效能及防护距离研究

2.2.1 不同采收间隔油莎豆模型的平均防风效能变化 由于油莎豆模型对于气流的阻挡作用主要发生在近床面，结合油莎豆模型高度及皮托管测量高度，本研究计算了0~10 cm高度范围内油莎豆模型在不同风速背风面的防风效能。根据表1可知，随着风速增加，不同模型的平均防风效能均减小，3种

ChinaXiv合作期刊

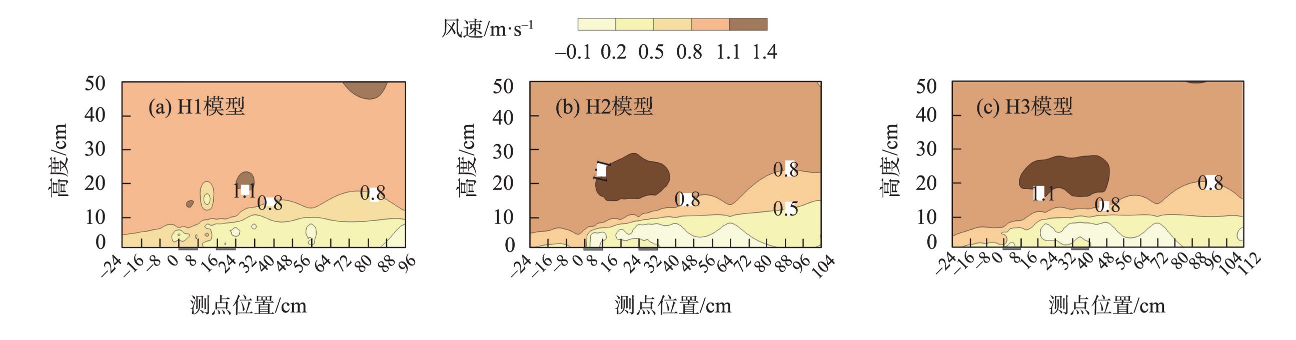


图5 6 m·s⁻¹风速下3种模型风速加速率

Fig. 5 Wind speed acceleration rates of three plant models at 6 m·s⁻¹ wind speed

表1 不同风速下3种模型背风面平均防风效能

Tab. 1 Average windbreak efficiency of three plant models on leeside at different wind velocities /%

实验风速/m·s⁻¹	H1	H2	H3
6	41.0b	50.8a	51.4a
8	37.6b	48.8a	49.2a
10	35.1b	47.2a	46.1a

注:表中同行不同小写字母表示不同模型间防风效能的差异显著($P<0.05$)。

不同采收模型背风面,H2与H3模型在6 m·s⁻¹、8 m·s⁻¹、10 m·s⁻¹的实验风速下的防风效能显著大于H1模型,但H2模型与H3模型之间没有显著差异。H1模型对于气流的削减作用最差,H2与H3模型的防风效果之间没有显著差异。

2.2.2 不同采收间隔油莎豆模型的防护距离分析

不同风速下,不同采收间距油莎豆模型的防风效能变化特征相似,以6 m·s⁻¹风速为例在油莎豆模型背风侧,H1模型防风效能呈先减小后增加的趋势,在24 cm的范围内<50%,而在24 cm处>50%(图6)。随着距离增加,防风效能逐渐增加,并且在96 cm处达到最大,为86.3%。H2模型防风效能呈先增大后减小的趋势,其防风效能在背风侧8 cm>50%,背风侧64 cm处达到最大,为91.1%,并在104 cm处降至74.7%。H3模型防风效能在背风侧同样呈先增大后减小的趋势,其防风效能在背风侧8 cm>50%,背风侧48 cm处达到最大,为88.2%,并随之降低,在112 cm处降至75.0%。并且,H1模型带间距仅为8 cm,H1模型在0~8 cm范围内防风效能<40%。H2模型两条油莎豆带距为16 cm,H3模型两条油莎豆带距为24 cm,H2与H3模型在两条带的间隔内防风效能均>50%。相比H1模型,H2与H3模型更能够有效抬升流场,使两条油莎豆带间所有区域均处于保护之中。

3 讨 论

先前的研究表明,由于植物模型的摩擦、阻挡等作用[15-16],气流会被削弱。这与本研究结果一致,油莎豆模型阻挡了气流,导致风速在近床面急速衰减。但在油莎豆带上方,3种不同模型均在模型上

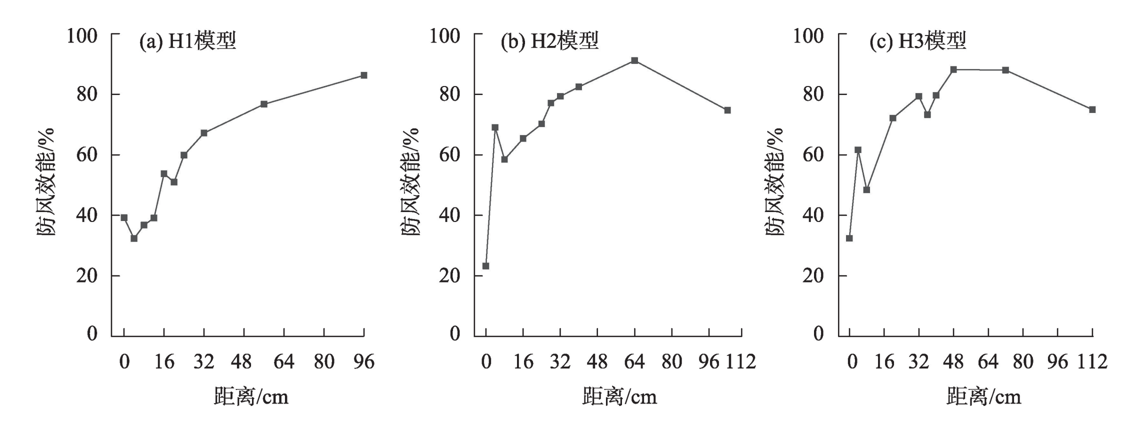


图6 6 m·s⁻¹风速下0~10 cm高度油莎豆模型不同位置的平均防风效能

Fig. 6 Change of average windbreak efficiency of different plant model at 0–10 cm at 6 m·s⁻¹ wind speed

chinaXiv:202302.00016v1

ChinaXiv合作期刊

方形成了高风速区。这是因为当气流遇到植物模型后，其中一部分被模型阻挡，受狭管效应的影响，会以“翻越流”的形式通过植物模型，从而在植物模型上方与原气流汇合形成一个较高风速区域[17-19]。许多研究结果表明，间隔越窄防风植物防护带对于气流的削减效果越强[12-13]。但我们的研究结果表明，H2与H3模型下的风影区强度与面积大于H1模型，这与康向光等[13]的研究结果一致，可能是由于较大间隔情况下气流更稳定造成的[11]。在H1模型中，第一道油莎豆带与第二道油莎豆带之间存在一个风速较低的风影区，这可能是由于气流在翻越第一道油莎豆带后迅速被第二道油莎豆带阻挡、气流被迅速削减而在此区域形成不稳定的紊流造成的。上述结果表明，H2与H3模型流场分布特征的稳定性和防护效果均大于H1模型。另外，不同风速下油莎豆不同模型的风场结构均相似，说明风场变化与风速无关，风速只对气流加速区和减速区的强度有影响，这与先前的研究一致[17,20]。随着风速增加，3种采收模型下的风场结构等风速线密度增加，植物模型对风速的削减作用减弱[11,20]。

先前的研究表明，当风速加速率>1.0时，模型对气流有加速作用；当风速加速率<1.0时，模型对气流有减速作用[9,17,20]。但本研究结果显示在不同风速下，不同采收间距油莎豆模型近床面的风速加速率均<0.5，这与袁鑫鑫等[9]的研究结果一致，近床面加速率急剧减小，并且随着高度增加，风速加速率增大，符合风速递减率[17,20]。另外，H2模型条件下加速率<1.0的区域面积要大于H1、H3模型，加速率>1.0的区域面积要小于H1、H3模型，说明H2模型对于气流的阻挡效果最好。

植物模型主要是通过抬升流场、阻挡穿过模型的气流来实现其防风作用[15,17]，不同模型在不同风速条件下的防风效能不同。通过分析不同风速下不同油莎豆模型防风效能可知，随着风速增加，不同模型的平均防风效能均减小，与Rui等[21]的研究结果相同。但与前人防护带间距越大防风效能越低的研究结果不同[10]，本研究结果表明H2、H3模型的防风效能显著大于H1模型。这可能是由于H1模型两条油莎豆带间距过近而造成了气流的不稳定。并且，H2与H3模型油莎豆带之间间隔较大，抑制了气流在穿过第一条油莎豆带后的突然加速，避免了形成近地面的湍流[11]，从而提高了稳定性。另外，不同模型防风效能并未在靠近油莎豆带处达到最大，防风效能均在第二道油莎豆带后达到最大。这可能是由于气流在穿过油莎豆模型时因为摩擦出现紊流，气流抬升在模型下方形成气旋，从而形成了较大的风速，造成了第一道油莎豆带与第二道油莎豆带之间的防风效能减小[11]。H1模型两条油莎豆带间距仅为8 cm，在0~8 cm范围内防风效能<40%。H2模型带间距为16 cm，H3模型带间距为24 cm，H2与H3模型在两条带的间隔内防风效能均>50%。在实际情况中，由于采收时油莎豆带连续存在，故只需考虑两条油莎豆带之间的防风效能，而上述的结果表明，H2、H3模型的防风效能要比H1模型高。

4 结 论

（1）不同采收方式油莎豆模型流场结构相似，均在近床面内对气流有削减作用。H2、H3模型的流场结构稳定性大于H1模型，在采收间距内，H2模型与H3模型的防风效能均大于50%，H1模型小于40%，且H2与H3模型的防风效能之间没有显著差异。

（2）从防风固沙的生态效益来看，H2采收模型为最佳。但从经济效益来看，H2模型的采收面积较小，经济收入下降，不能在获得一定防风固沙效益的同时为农民提供较高的经济效益。

（3）因此，综合防风固沙的生态效益与增加收入的经济效益来看，H3模型为建议的采收方式。另外，作为农田作物防风固沙的研究，我们的模型也可用于与油莎豆相似的其他作物，能够为干旱、半干旱区在利用农作物和经济作物进行防风固沙的研究提供参考。

参考文献(References)

[1] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 我国西北干旱区的荒漠化过程及其空间分异规律[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 1−8. [Zhao Halin, Zhao Xueyong, Zhang Tonghui, et al. Desertification process and its spatial differentiation in arid areas of northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(1): 1−8.]

[2] 王雅琴, 杨海梅, 范文波, 等. 近50 a新疆风蚀气候侵蚀力迁移特征及影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 370−378. [Wang Yaqin, Yang Haimei, Fan Wenbo, et al. Vegetation-water vapor-land surface temperature correlation analysis of typical deserts and oases in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 370−378.]

chinaXiv:202302.00016v1

ChinaXiv合作期刊

[3] 王仁德, 常春平, 郭中领, 等. 适用于河北坝上地区的农田风蚀经验模型[J]. 中国沙漠, 2017, 37(6): 1071-1078. [Wang Rende, Chang Chunping, Guo Zhongling, et al. A wind erosion empirical model of farmland applied in Bashang area of Hebei, China[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(6): 1071-1078.]

[4] 杨敏, 田丽萍, 薛琳. 不同油莎豆品种在新疆干旱气候区的产量表现与品质差异[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(4): 451-454. [Yang Min, Tian Liping, Xue Lin. Quality and production potential of different chufa varieties in arid climate region of Xinjiang [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(4): 451-454.]

[5] 杨文斌, 卢琦, 吴波, 等. 低覆盖度不同配置灌丛内风流结构与防风效果的风洞实验[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 791-796. [Yang Wenbin, Lu Qi, Wu Bo, et al. Wind tunnel experiment on wind flow structure and windbreak effect within low-covered shrubs under different arrangements[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 791-796.]

[6] 程丹妮, 王颖琪, 程勇翔, 等. 新疆典型沙漠和绿洲植被-水汽-地表温度相关性分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 456-466. [Cheng Danni, Wang Yingqi, Cheng Yongxiang, et al. Vegetation-water vapor-land surface temperature correlation analysis of typical deserts and oases in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 456-466.]

[7] 朱震达, 刘恕. 我国北方地区的沙漠化过程及其治理区划[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981: 3-7. [Zhu Zhenda, Liu Shu. The characteristics of the environment vulnerable to desertification and the ways of its control in steppe zone[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1981: 3-7.]

[8] Fabrizzi K P, García F O, Costa J L. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 81(1): 57-69.

[9] 袁鑫鑫, 王海峰, 雷加强, 等. 不同间距双排尼龙阻沙网防风效能的风洞模拟[J]. 中国沙漠, 2016, 36(5): 1238-1246. [Yuan Xinxin, Wang Haifeng, Lei Jiaqiang, et al. Wind tunnel simulation of windbreak effect of double-row nylon net fence with different interval[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(5): 1238-1246.]

[10] 杨红艳, 王晶莹, 杨文斌. 行带式柠条林合理带间距的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 211-214. [Yang Hongyan, Wang Jingying, Yang Wenbin. Selection of suitable distance between *Caragana korshinskili* Kom. shelterbelts[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(7): 211-214.]

[11] 高函, 吴斌, 张宇清, 等. 行带式配置柠条锦鸡儿防护林防风效益风洞试验研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 45-47. [Gao Han, Wu Bin, Zhang Yuqing, et al. Wind tunnle test of wind speed reduction of *Caragana korshinskii* coppice[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 45-47.]

[12] 闫敏, 左合君, 杨阳, 等. 不同带间距柠条锦鸡儿防护林防风效能与带间植被组成[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 139-145. [Yan Min, Zuo Hejun, Yang Yang, et al. Different distance *Caragana korshinskii* protection forest foe wind reducing effect and inter-type vegetation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 139-145.]

[13] 康向光, 李生宇, 马学喜, 等. 两条尼龙阻沙网不同组合间距的积沙量对比分析[J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 347-353. [Kang Xiangguang, Li Shengyu, Ma Xuexi, et al. Sand masses blocked by double nylon mesh sand barriers with different intervals[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(2): 347-353.]

[14] 刘盛林, 丁效东, 郑东峰, 等. 黄河三角洲盐渍化荒地种植植物对土壤改良、磷形态转化及有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(1): 278-284, 293. [Liu Shenglin, Ding Xiaodong, Zheng Dongfeng, et al. Effect of different plants plantation on amelioration of uncultivated saline wasteland, soils phosphorus fraction and availability in the Yellow River Delta[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(1): 278-284, 293.]

[15] 杨文斌, 赵爱国, 王晶莹, 等. 低覆盖度沙蒿群丛的水平配置结构与防风固沙效果研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 108-112. [Yang Wenbin, Zhao Aiguo, Wang Jingying, et al. Allocation of *Artemisia halodendron* association with low coverage and their sand-fixing and wind-preventing effects[J]. Journal of Desert Research 2006, 26(1): 108-112.]

[16] Cheng H, He W, Liu C, et al. Transition model for airflow fields from single plants to multiple plants[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 266-267: 29-42.

[17] 张莹花, 康才周, 刘世增, 等. 沙地云杉(*Picea mongolica*)农田防护林带不同配置模式的防风效果[J]. 中国沙漠, 2017, 37(5): 859-866. [Zhang Yinghua, Kang Caizhou, Liu Shizeng, et al. Windbreak effect of *Picea mongolica* farmland shelterbelt with different configuration[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(5): 859-866.]

[18] 彭帅. 河北坝上农田防护林带结构配置及防护效益研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015. [Peng Shuai. The study on the structure configuration and protective benefits of farmland shelterbelts in Bashang, Hebei[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2015.]

[19] Vigiak O, Sterk G, Warren A, et al. Spatial modeling of wind speed around windbreaks[J]. Catena, 2003, 52(3/4): 273-288.

[20] 李雪琳, 马彦军, 马瑞, 等. 不同带宽的防风固沙林流场结构及防风效能风洞实验[J]. 中国沙漠, 2018, 38(5): 936-944. [Li Xuelin, Ma Yanjun, Ma Rui, et al. Wind flow field and windproof efficiency of shelterbelt in different width[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(5): 936-944.]

[21] Rui M, Li J, Ma Y, et al. A wind tunnel study of the airflow field and shelter efficiency of mixed windbreaks[J]. Aeolian Research, 2019, 41: 193-207.

chinaXiv:202302.00016v1

ChinaXiv合作期刊

Wind flow field and windbreak efficiency of double-row *Cyperus esculentus* belt with different harvest interval

LIU Yalan[1,2,3,4], LI Lei[1,2,3,4], LU Yan[1,2,3], SONG Chunwu[1,2,3],
LI Xiangyi[1,2,3,4], ZENG Fanjiang[1,2,3,4]

(1. Xinjiang Desert Plant Roots Ecology and Vegetation Restoration Laboratory, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3. Qira National Station of Observation and Research for Desert-Grassland Ecosystems, Qira 848300, Xinjiang, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With a developed root system, *Cyperus esculentus* has great potential as a windbreak and sand-fixing crop in the farmland ecosystem. *Cyperus esculentus* models are important for obtaining more ecological and economic benefits by investigating the change of wind flow field and windbreak efficiency of different harvesting distances. We established three trip-harvesting distance models: harvest one belt interval one belt (H1), harvest two belt interval one belt (H2), and harvest three belt interval one belt (H3). We measured the flow field structure, wind speed acceleration rate, and windbreak efficiency of the three models at 6 m·s^{-1}, 8 m·s^{-1}, and 10 m·s^{-1} wind speed rates. The results are as follows: (1) The wind speed decreases rapidly because of the resistance of the three plant models, resulting in the formation of a wind shadow area in the ground layer. The stability and wind shadow areas of H2 and H3 are greater than those of H1. (2) An increase in the wind speed acceleration rate decreases windbreak efficiency. The windbreak efficiency of H2 and H3 on the leeward side is significantly higher than that of H1, but there is no significant difference in windbreak efficiency between H2 and H3. In the harvest area, the windbreak efficiency of H2 and H3 is >50%, whereas that of H1 is <40%. (3) There is no significant difference between the H2 and H3 models in terms of windbreak and sand-fixation benefits. However, the harvest spacing of H2 is less than that of H3, as are the economic benefits. Thus, considering the ecological and economic benefits, H3 is the recommended harvesting method.

Key words: harvest spacing; wind tunnel test; flow field structure; wind speed acceleration rate; windbreak efficiency

chinaXiv:202302.00016v1